

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-63148
(P2000-63148A)

(43) 公開日 平成12年2月29日 (2000.2.29)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
C 0 3 C 13/04		C 0 3 C 13/04	2 H 0 5 0
G 0 2 B 6/00	3 7 6	G 0 2 B 6/00	3 7 6 A 4 G 0 6 2

審査請求 有 請求項の数 9 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-237998

(22) 出願日 平成10年8月10日 (1998.8.10)

(71) 出願人 000002060

信越化学工業株式会社

東京都千代田区大手町二丁目6番1号

(72) 発明者 井上 大

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化学工業株式会社精密機能材料研究所内

(72) 発明者 小山田 浩

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化学工業株式会社精密機能材料研究所内

(74) 代理人 100102532

弁理士 好宮 幹夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバコア部材と光ファイバ母材およびそれらの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバコア部材および光ファイバ母材のクラッドの屈折率分布を平坦化する方法と平坦化したコア部材および母材を提供し、ファイバの設計可能エリアを拡げて、品質の向上と歩留りの向上を図ると共に操業の安定化と生産性の向上を図る。

【解決手段】 石英系光ファイバコア部材において、塩素によるクラッドの径方向の屈折率分布が外周において高く、中心に向かって低くなる分布であり、コアのドーパントがクラッドへ外方拡散したことによるクラッドの径方向の屈折率上昇分布と均衡している光ファイバのコア部材、ならびに、コア直径の2倍以上のクラッド領域における、比屈折率の変動が 5×10^{-5} 以下である光ファイバのコア部材。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 石英系光ファイバのコア部材において、塩素によるクラッドの径方向の屈折率分布が外周において高く、中心に向かって低くなる分布であり、コアのドーパントがクラッドへ外方拡散したことによるクラッドの径方向の屈折率上昇分布と均衡していることを特徴とする光ファイバのコア部材。

【請求項2】 コア直径の2倍以上のクラッド領域における、屈折率の変動が 5×10^{-5} 以下であることを特徴とする光ファイバのコア部材。

【請求項3】 前記コアにドーパされたドーパントがGeであることを特徴とする請求項1または請求項2に記載した光ファイバのコア部材。

【請求項4】 前記請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の光ファイバのコア部材から作製されることを特徴とする光ファイバ母材。

【請求項5】 前記請求項4に記載した光ファイバ母材から作製されることを特徴とする光ファイバ。

【請求項6】 出発部材にドーパントをドーパしたSiO₂から成るコアおよびこれにSiO₂から成るクラッドの一部を堆積させてストック堆積体を製造し、これを塩素により脱水し、透明ガラス化して光ファイバコア部材を製造する方法において、該ストック堆積体に残留する塩素濃度が外周に近い程高くなるように制御して、塩素によるクラッドの径方向の屈折率分布が外周において高く、中心に向かって低くなる分布とし、コアのドーパントがクラッドへ外方拡散したことによるクラッドの径方向の屈折率上昇分布と均衡するように作製することを特徴とする光ファイバコア部材の製造方法。

【請求項7】 コア直径の2倍以上のクラッド領域における屈折率の変動が、 5×10^{-5} 以下となるように作製することを特徴とする請求項6に記載の光ファイバコア部材の製造方法。

【請求項8】 前記ドーパントをGeとすることを特徴とする請求項6または請求項7に記載の光ファイバコア部材の製造方法。

【請求項9】 請求項6ないし請求項8で製造された光ファイバコア部材から光ファイバ母材を形成することを特徴とする光ファイバ母材を製造する方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバのコア部材、光ファイバ母材（プリフォーム）、特に塩素をドーパした分散特性の高いシングルモード光ファイバ用コア部材、光ファイバ母材に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバを通過する光が基底モードのみになる波長をカットオフ波長という。カットオフ波長より長い波長の光がこの光ファイバに入射すると、高次モードが消滅し、基底モードのみが伝播する。一方、シ

ングルモード光ファイバにおいては、分散により信号劣化が生じる。分散がなくなる波長をゼロ分散波長という。使用波長が決まっていることから市場で要求されるゼロ分散波長の上限が決まる。

【0003】光ファイバを接続する際に、光が伝播する領域が狭いと、この接続ポイントにおける光信号の損失が大きくなり易い。この光が伝播する領域はモードフィールド径（MFD）で表される。一般にシステムは複数の接続ポイントを持つため、光ファイバは損失が許容範囲以下に収まる程度のMFDを持つ必要がある。このようにして市場で要求されるMFDの最小値が決定される。

【0004】光ファイバ内を伝播する光は、光ファイバが曲がっていることにより外に漏れ出し、従って信号が劣化する。これを曲げ損失と呼ぶ。この曲げ損失は光ファイバのカットオフ波長 λ_c とMFDの比と相関があることが判っている。この曲げ損失を許容範囲以下に抑える必要性からカットオフ波長の下限とモードフィールド径の上限が限定されることになる。

【0005】光ファイバを通過する光は、厳密には単一波長ではないため、その波長の差により伝送速度に差が生じ信号が広がる。この現象は分散と呼ばれている。前述のように分散が0となる波長をゼロ分散波長と呼ぶ。理想的にはシステム全体で使用波長における分散が0であることが望ましい。つまり、分散補償ファイバを用いない通常のシステムにおいては、使用波長とゼロ分散波長が一致することが望ましい。このようにして市場で要求されるゼロ分散波長の範囲が決定される。

【0006】以上のような制約から、図2（a）に示すような光ファイバの設計エリアが決定される。ここで、図2は、カットオフ波長 λ_c とMFDとの関係を表した図で、曲げ損失の許容範囲に対応する λ_c とMFDを決めることができる。通常、このような設計エリアに収まるようにコアの屈折率分布およびクラッドの厚みが決定される。ここで、ある屈折率分布を持ったコア部材がある時にクラッド厚みを決定する作業を「設計する」と言う。

【0007】例えば、1310nmを使用波長とする一般的な光ファイバでは、公知のとおり理想的な屈折率分布は完全な矩形であるが、VAD法（気相軸付け法）やOVD法（外付け化学気相蒸着法）といった現実の製造方法で矩形にするのは非常に困難である。なぜなら、一般にこれらの製造方法では、外周から中心に近い程高くなるなどかな屈折率の上昇がクラッドに現れるためである。この屈折率の上昇は脱水・ガラス化の工程において加熱されることによりコアからクラッドヘドーパントであるGeが拡散することによって起こっている。

【0008】通常はこのようになだらかな屈折率の上昇があるプロファイルでしか製造できないために、図2（c）に示すように、従来の実際に設計できる「設計可

能エリア」は、市場の要求で決まる図2(a)の「設計エリア」の内非常に狭い部分のみとなってしまう。また、このような「設計可能エリア」内のもののみであると、図3(b)に示すように、ゼロ分散波長の分布の中心が使用波長よりも大きい値となり、ゼロ分散波長の大きいファイバとゼロ分散波長の小さい波長のファイバを組合せてシステム全体でのゼロ分散波長を使用波長に合わせることが困難となる。

【0009】クラッドの屈折率分布を調節する方法としては、例えば、特許第2659066号公報に記載されているように、フッ素化合物をドーピングして屈折率を下げる方法が知られているが、この方法によると屈折率の高いコア近辺にフッ素を多くドーピングする必要がある。しかしながら、光が伝播する領域でのドーピングの増加は損失を招くため好ましくない。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明は、このような問題点を鑑みなされたもので、光ファイバコア部材および光ファイバ母材のクラッドの屈折率分布を平坦化する方法と平坦化されたコア部材および母材を提供し、ファイバの設計可能エリアを拡げて、品質の向上と歩留りの向上を図ると共に操業の安定化と生産性の向上を図ることを主たる目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明の請求項1に記載した発明は、石英系光ファイバのコア部材において、塩素によるクラッドの径方向の屈折率分布が外周において高く、中心に向かって低くなる分布であり、コアのドーパントがクラッドへ外方拡散したことによるクラッドの径方向の屈折率上昇分布と均衡していることを特徴とする光ファイバのコア部材である。

【0012】このように、本発明では塩素によるクラッドの径方向の外から内へ傾斜する屈折率分布とコアのドーパントによるクラッドにおける逆傾斜の屈折率分布とが均衡しているので、クラッドの屈折率分布が極めて平坦になったコア部材であり、使用波長からずれていたゼロ分散波長がほぼ一致するようになり、従来狭くなっていた光ファイバの設計可能範囲を大きく拡大することが可能である。

【0013】また、本発明の請求項2に記載した発明は、コア直径の2倍以上のクラッド領域における、比屈折率の変動が 5×10^{-5} 以下であることを特徴とする光ファイバのコア部材である。このように、クラッドにおける比屈折率の変動を 5×10^{-5} 以下に抑えたものとすれば、ゼロ分散波長 λ_0 は使用波長と許容範囲内でほぼ一致するようになり、分散特性が向上して、光ファイバの設計可能範囲を拡大することができる。

【0014】そして、請求項3に記載したように、前記コアにドーピングされたドーパントをGeとすることができ

る。このように、コアのドーパントがGeである場合、コアからクラッドに外方拡散して屈折率分布がコア側が高いものになるのを、本発明により修正することが可能となる。

【0015】本発明の請求項4に記載した発明は、前記請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の光ファイバのコア部材から作製される光ファイバ母材である。このように前記特性を有するコア部材に残りのクラッドを堆積させ、塩素で脱水し、塩素をドーピングして透明ガラス化して製造した光ファイバ母材であるから、コア部材と同様、所望の特性を有する光ファイバ母材となる。

【0016】さらに、本発明の請求項5に記載した発明は、前記請求項4に記載した光ファイバ母材から作製されることを特徴とする光ファイバである。このように前記特性を有する光ファイバ母材を延伸して製造した光ファイバとすれば、光ファイバ母材と同様、所望の特性を有する光ファイバとなる。

【0017】次に本発明の請求項6に記載した発明は、出発部材にドーパントをドーピングした SiO_2 から成るコアおよびこれに SiO_2 から成るクラッドの一部を堆積させてストック堆積体を製造し、これを塩素により脱水し、透明ガラス化して光ファイバコア部材を製造する方法において、該ストック堆積体に残留する塩素濃度が外周に近い程高くなるように制御して、塩素によるクラッドの径方向の屈折率分布が外周において高く、中心に向かって低くなる分布とし、コアのドーパントがクラッドへ外方拡散したことによるクラッドの径方向の屈折率上昇分布と均衡するように作製することを特徴とする光ファイバコア部材の製造方法である。

【0018】このようにしてコア部材を製造すれば、クラッドにおける屈折率分布は極めて平坦化され、使用波長からずれていたゼロ分散波長がほぼ一致するようになり、分散特性が向上するので、従来狭くなっていた光ファイバの設計可能範囲を大きく拡大することが可能となり、歩留りと生産性の向上を図ることができる。

【0019】この場合、請求項7に記載したように、コア直径の2倍以上のクラッド領域における比屈折率の変動を、 5×10^{-5} 以下に抑えることが望ましい。このように、クラッドにおける比屈折率の変動範囲を決めれば、ゼロ分散波長 λ_0 は使用波長と許容範囲内でほぼ一致するようになり、分散特性が向上し、光ファイバの設計可能範囲を拡大することができる。

【0020】そしてこの場合、請求項8に記載したように、前記コアのドーパントをGeとすることができる。このようにすれば、コアからクラッドに外方拡散したGeによる屈折率の上昇と、外からクラッドに拡散する塩素による屈折率の上昇とを均衡させ、クラッドの屈折率を平坦化できる。

【0021】本発明の請求項9に記載した発明は、請求項6ないし請求項8で製造された光ファイバコア部材が

ら光ファイバ母材を形成する光ファイバ母材を製造する方法である。このように前記コア部材を出発材として残りの多孔質クラッド（以下、第2クラッドということがある）を堆積させて、塩素で脱水し、塩素をドーブして透明ガラス化し、良好な特性を有する光ファイバ母材を形成することができる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。本発明者らは、クラッドの屈折率分布を平坦化するに当たり、脱水に使用する塩素がGeと同様にシリカ（ SiO_2 ）の屈折率を上昇させると共に、屈折率の分布の方向が逆になることに着目し、諸条件を確認して本発明を完成させた。

【0023】すなわち、コアにドーブしたGeは、クラッドの方に外方拡散してクラッドの屈折率を高めると共に、屈折率の分布はコア側から外周にかけてなだらかに低下するように傾斜している。これに反して塩素は、クラッドの屈折率を高めると共に、屈折率の分布は外周からコアの中心に向けてなだらかに低下するように傾斜している。つまり、クラッドでのGeによる屈折率上昇と全く等価で傾斜のみが反対となる塩素による屈折率上昇を与えることにより、Geによる屈折率上昇は塩素による屈折率上昇と均衡し、その結果、クラッドの屈折率分布は平坦なものとなることが出来るのである。

【0024】ここで、実際に与え得る塩素による屈折率の上昇は、なだらかなものであるため、コア近傍におけるGeの拡散による急激な屈折率の上昇を完全に打ち消すことは極めて困難である。ここで言うコア近傍とは、コア直径の2倍程度の領域である。このコア近傍における屈折率の上昇が従来どうりである時の、コア近傍以外のコア直径の2倍以上のクラッド領域における屈折率の変動と「設計可能範囲」との関係調べた。その結果、図4に示すように実用的には、使用波長（ゼロ分散波長 λ_0 ） $1310 \pm 1 \text{ nm}$ に対して比屈折率の変動は、 5×10^{-5} 以下であればよいことが判った。

【0025】具体的にはコア部材用スート堆積体の脱水、ガラス化工程における処理温度範囲である $1000 \sim 1400^\circ\text{C}$ に対応した塩素／ヘリウム混合ガス中塩素濃度を、上記比屈折率の変動範囲内に収まるように設定すればよい。

【0026】このような本発明によれば、クラッドの屈折率を調節するためのドーパントである塩素の量は、コアに近くなるほど、少なくなるため、従来のフッ素化合物を添加する調整方法に比べて損失増加の危険性が極めて少ない。

【0027】ここで、添付した図面に基づき、さらに詳細に本発明を説明する。図6（a）はコア部材製造装置、図6（b）は焼結反応炉、図6（c）はクラッド製造装置の構成例を示す概要図である。

【0028】本発明のような所望のファイバ特性を有する光ファイバコア部材の製造装置としては、例えばVAD法（気相軸付け法）によるコア部材の製造装置によって製造することができる。この装置は、例えば図6

（a）に示すように、基材としての石英基材（コア）3が挿入されるチャンバ4と、排気管と、該石英基材3の下端のターゲット部に先端を向けて配置されるコア用バーナ1を備えており、このバーナ1に、光ファイバコア部材の原料となる四塩化ケイ素（ SiCl_4 ）、屈折率を制御するためのドーパントとしての四塩化ゲルマニウム（ GeCl_4 ）等の原料ライン、酸水素火炎用の H_2 ガス、 O_2 ガス等のガスラインが接続されている。また、石英基材3の側面に向けて配置される第1クラッド用バーナ2を備え、四塩化ケイ素ガスと酸水素ガスラインに接続されている。

【0029】そしてこのような装置により、石英基材3を回転させつつターゲット部に向けてバーナ1とバーナ2から原料とガスを吹き付け、火炎加水分解反応を起こさせてターゲット部の表面にすす状の反応生成物（ SiO_2 ）を軸方向に堆積させて行くと共に、石英基材3を引上げて、屈折率の高いコアと屈折率の低い第1クラッドから成るスート堆積体である多孔質コア部材5を製造する。

【0030】次に、図6（b）に示したように、この多孔質コア部材5をヘリウムガス、塩素ガスの混合ガス導入管および排気管と加熱装置6を備えた焼結反応炉7内に入れ、塩素ガス濃度を調整しつつ 1100°C に加熱して脱水し、塩素をドーブし、さらに焼結して透明ガラス化し、コア部材を作製する。この時、本発明においては、雰囲気中の塩素ガス濃度を、コア近傍のGeによる屈折率の上昇分と均衡させるように制御することが重要である。これは、コアのドーパント濃度、焼結温度等による外方拡散量とから、これと均衡するように塩素濃度を決定する。

【0031】次いで、このコア部材8を、 SiCl_4 ガスと酸水素火炎が供給される第2クラッド用バーナ9と排気管を有する図6（c）に示したクラッド製造装置10に装着し、OVD法によりバーナ9を左右に移動させながら、このコア部材8の上に、所望のファイバ特性が得られように第2クラッドを形成させる。その後この第2クラッド付きガラスロッド11を再度図6（b）に示した焼結反応炉7に装着し、ヘリウムガス、塩素ガスの混合ガス雰囲気下に 1100°C で脱水し、塩素をドーブし、さらに焼結して透明ガラス化し光ファイバ母材を製造する。

【0032】

【実施例】以下、本発明の具体的な実施の形態を実施例を挙げて説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

（実施例）図6（a）に示したコア部材製造装置を用い

て、 SiCl_4 ガスとドーパントとして GeCl_4 ガスを酸水素火炎で燃焼させて、石英基材にスートを堆積させて多孔質コアを形成し、同時にその上に SiCl_4 ガスを酸水素火炎分解してスートを堆積させて多孔質クラッドを形成し、多孔質コア部材を製造する。

【0033】次いで図6 (b) に示した焼結反応炉に導入した5モル%の塩素を含むヘリウムガス中にこの多孔質コア部材を5mm/minの引下げ速度で、1100℃の焼結炉を通過させて脱水し、塩素をドーパし、透明ガラス化して光ファイバコア部材を作製した。

【0034】このコア部材を分析したところ、図1 (c) に示したように、コア直径の2倍以上のクラッド領域における比屈折率の変動が 1×10^{-5} 以下である平坦な屈折率分布を持つクラッドを形成することができた。この値は図4で明らかなように、ゼロ分散波長 $\lambda_0 = 1309.4 \text{ nm}$ に相当し、使用波長1310nmの許容範囲($\pm 1 \text{ nm}$)内に収まっているものであった。

【0035】ここで、図1 (a) はコアにドーパしたドーパントGeのみによる屈折率分布を表している。図1 (b) はクラッドに拡散した塩素のみによる屈折率分布を表している。そして、図1 (c) ではクラッド領域において、(a) と (b) の分布が相殺され、平坦な分布となり、屈折率そのものはドーパント濃度 ($\text{Ge} + \text{Cl}$) にはほぼ比例して上昇しているのが判る。

【0036】また、光ファイバのゼロ分散波長 λ_0 の分布を求めたところ、図3 (a) に示したように分布の中心が、使用波長とほぼ一致したものとなり、システム全体で使用波長における分散をゼロとするファイバの構成が極めて容易であることが判る。さらに、この条件で造したコア部材を用いると、下記比較例(図2 (c) 参照) に比べて光ファイバの設計可能範囲は大きく拡大した(図2 (b) 参照)。

【0037】(比較例) 実施例で製造した多孔質コア部材を1モル%の塩素を含むヘリウムガス中に5mm/minの引下げ速度で、1100℃の焼結炉を通過させて脱水し、塩素をドーパし、焼結して透明ガラス化し、光ファイバコア部材を作製した。このコア部材を分析したところ、図5 (c) に示したように、コアに近い程屈折率が高くなるなどらかな屈折率の上昇が見られた。この場合、コア直径の2倍以上のクラッド領域における比屈折率の変動は 8×10^{-5} と大きいものであり、図4のゼロ分散波長の許容範囲から大きく外れてしまった。図3 (b) にゼロ分散波長の分布を示したが、使用波長とは全く一致することなく大きい方へズレてしまった。

【0038】図5 (a) はコアにドーパしたドーパントGeのみによる屈折率分布を表している。図5 (b) はクラッドに拡散した塩素のみによる屈折率分布を表している。このように、図5 (c) ではクラッド領域におけ

る(a) と (b) の分布が相殺しきれないでコアから外周にかけてゆるい下り傾斜となっている。

【0039】尚、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【0040】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、コアから外方拡散したドーパントにより傾斜したクラッドの屈折率分布を平坦化することができるので、使用波長からずれていたゼロ分散波長がほぼ一致するようになり、分散特性が向上し、従来狭くなっていた光ファイバの設計可能範囲を大きく拡大することが可能となり、歩留りと生産性の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光ファイバコア部材における径方向屈折率分布を示す図である。

(a) コアにドーパしたGeによる屈折率分布、(b) クラッドに拡散した塩素による屈折率分布、(c) :

(a) と (b) で合成された屈折率分布。

【図2】光ファイバを設計する際の、カットオフ波長 λ_c とMFDとの相関関係から決まる設計可能エリアを示す図である。

(a) 市場の要求で決まる設計エリア、(b) 本発明の設計可能エリア、(c) 従来技術による設計可能エリア。

【図3】ゼロ分散波長 λ_0 の度数分布を示す図である。

(a) 本発明の光ファイバ、(b) 従来の光ファイバ。

【図4】設計可能エリア内で設計した時のゼロ分散波長 λ_0 の平均値とコア直径の2倍以上のクラッド領域における比屈折率の変化の関係を表す図である。

【図5】従来の光ファイバコア部材における径方向屈折率分布を示す図である。

(a) コアにドーパしたGeによる屈折率分布、(b) クラッドに拡散した塩素による屈折率分布、(c) : (a) と (b) で合成された屈折率分布。

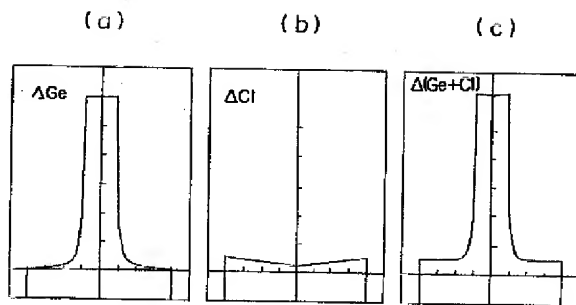
【図6】本発明で使用した光ファイバ母材製造装置の構成例を示す概要図である。

(a) コア部材製造装置、(b) 焼結反応炉、(c) クラッド製造装置。

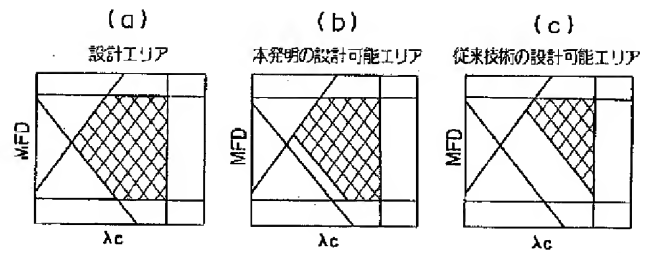
【符号の説明】

1…コア用バーナ、2…第1クラッド用バーナ、3…石英基材(コア)、4…チャンバ、5…多孔質コア部材、6…加熱装置、7…焼結反応炉、8…コア部材、9…第2クラッド用バーナ、10…クラッド製造装置、11…第2クラッド付きガラスロッド。

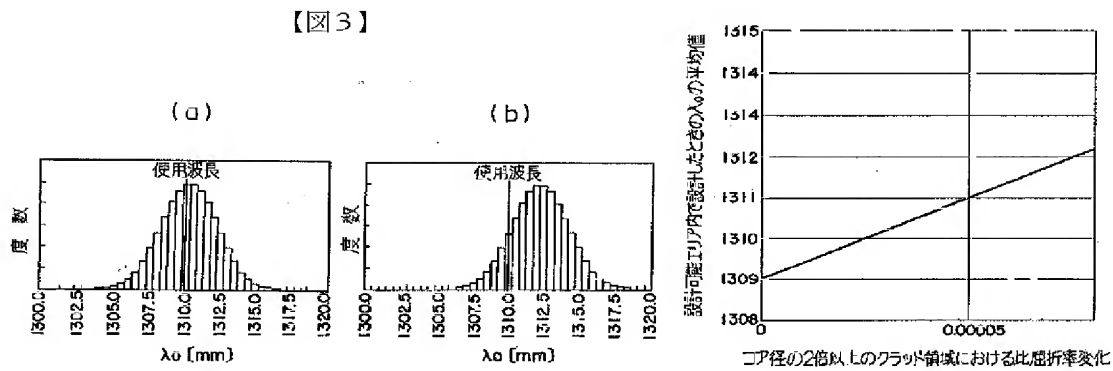
【図1】



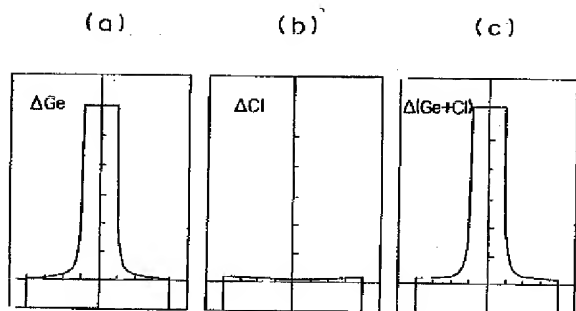
【図2】



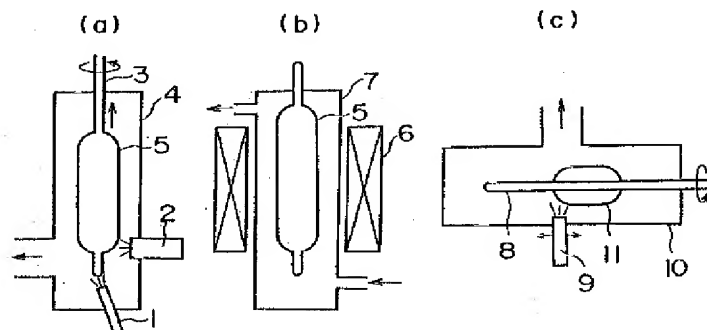
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 島田 忠克
群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化
学工業株式会社精密機能材料研究所内

(72)発明者 平沢 秀夫
群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化
学工業株式会社精密機能材料研究所内
Fターム(参考) 2H050 AA01 AB05X AB18Y AC35
AC36
4G062 AA06 BB02 LA03 LB01 MM04
NN01